

Compactação de solo em sistemas de produção de tomate industrial – métodos para identificação e alternativas de manejo



Fotos: Carlos Francisco Ragassi

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Hortaliças
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 158

Compactação de solo em sistemas de produção de tomate industrial – métodos para identificação e alternativas de manejo

*Raphael Augusto de Castro e Melo
Carlos Francisco Ragassi
Alice Kazuko Inoue-Nagata*

Embrapa Hortaliças
Brasília, DF
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na

Embrapa Hortaliças

Rodovia BR-060, trecho Brasília-Anápolis, km 9

Caixa Postal 218

Brasília-DF

CEP 70.351-970

Fone: (61) 3385.9000

Fax: (61) 3556.5744

www.embrapa.br/fale-conosco/sac

www.embrapa.br

Comitê Local de Publicações da Embrapa Hortaliças

Presidente: *Jadir Borges Pinheiro*

Editora Técnica: *Mariana Rodrigues Fontenelle*

Secretária: *Gislaine Costa Neves*

Membros: *Carlos Eduardo Pacheco Lima*

Raphael Augusto de Castro e Melo

Ailton Reis

Giovani Olegário da Silva

Iriani Rodrigues Maldonade

Alice Maria Quezado Duval

Jairo Vidal Vieira

Rita de Fátima Alves Luengo

Supervisora Editorial: *Caroline Pinheiro Reyes*

Bibliotecária: *Antônia Veras de Souza*

Editoração eletrônica: *André L. Garcia*

1ª edição

1ª impressão (2017): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Hortaliças

Compactação de solo em sistemas de produção de tomate industrial – métodos para identificação e alternativas de manejo / Raphael Augusto de Castro e Melo ... [et al.]. - Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2017.

44 p. : il. color. ; 21 cm x 27 cm. (Documentos / Embrapa Hortaliças, ISSN 1415-2312 ; 158).

1. Solanum lycopersicum. 2. Compactação do solo. I. Melo, Raphael Augusto de Castro e. II. Ragassi, Carlos Francisco. III. Inoue-Nagata, Alice Kazuko. IV. Embrapa Hortaliças. V. Série.

CDD 635.642

©Embrapa 2017

Autores

Raphael Augusto de Castro e Melo

Engenheiro Agrônomo, M.Sc. em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

Carlos Francisco Ragassi

Engenheiro Agrônomo, M.Sc. em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

Alice Kazuko Inoue-Nagata

Engenheira Agrônoma, D.Sc. em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

Apresentação

A Embrapa é frequentemente demandada pelo setor produtivo que busca uma causa para o mal desenvolvimento da raiz e da parte aérea do tomateiro em lavouras destinadas ao processamento industrial. Essa demanda normalmente chega no formato “qual é a praga que está causando esse problema?” ou ainda, “qual insumo deve ser aplicado para que a planta se desenvolva?”. Não foram poucas as tentativas de se identificar algum inseto, nematoide, fungo, bactéria ou vírus associado às plantas com sintoma, tendo sido recorrentemente descartada a possibilidade de uma causa biótica para o problema. Visitas *in loco* em regiões produtoras foram realizadas e uma realidade constatada: a compactação de solo ocorre na grande maioria dessas áreas e causa o nítido mau desenvolvimento das raízes, que em casos extremos causa a impressão de que a raiz pivotante (tipo de raiz característico de todas as plantas dicotiledôneas) está ausente. O mau desenvolvimento da parte aérea do tomateiro ocorre em consequência do sistema radicular reduzido, que não consegue suprir a planta com água e nutrientes, embora água e nutrientes sejam fornecidos em abundância ao sistema de produção. A presente publicação descreve o problema da compactação de solo, suas causas e métodos para seu diagnóstico. Ao final, formas de prevenção e alternativas de manejo são apresentadas para o sistema de produção de tomate para fins industriais.

Warley Marcos do Nascimento
Chefe-Geral da Embrapa Hortaliças

Sumário

Introdução.....	11
Caracterização da compactação e seus efeitos.....	12
Métodos para identificação de camadas compactadas e graus de compactação	16
Trincheiras	17
Penetrometria	19
Densidade e porosidade	22
Prevenção e correção da compactação.....	24
Prevenção	24
Correção com operações mecanizadas	25
Alternativas de manejo.....	26
Sistemas conservacionistas	26
Plantas de cobertura para rotação/sucessão	29
Referências	39

Compactação de solo em sistemas de produção de tomate industrial – métodos para identificação e alternativas de manejo

Raphael Augusto de Castro e Melo

Carlos Francisco Ragassi

Alice Kazuko Inoue-Nagata

Introdução

Em 2015, o Brasil foi o 7º maior produtor mundial de tomate para processamento industrial (WORLD PROCESSING TOMATO COUNCIL, 2015). O Nordeste e o Sudeste são importantes regiões produtoras, porém a região Centro Oeste se destaca, sendo que o estado de Goiás concentra mais de 70% do volume produzido, consolidando fortemente esse setor dentro do agronegócio, tanto em âmbito regional quanto nacional (MELO, 2012).

Os desafios nesse setor produtivo são constantes e avanços nas diferentes áreas têm sido obtidos, entre os quais se destacam o melhoramento genético, gerando híbridos com qualidades agronômicas, com produção de frutos adequados ao processamento industrial e com resistência múltipla a doenças; e o manejo fitossanitário, viabilizando a obtenção de elevadas produtividades por meio do controle integrado de pragas.

Para esses sistemas de produção de alto nível tecnológico, contudo, os produtores vêm enfrentando problemas cujo o diagnóstico é complexo. Relatos de plantas apresentando desenvolvimento limitado, folhas cloróticas, raízes pouco profundas e com crescimento ocorrendo predominantemente de forma lateral têm se multiplicado nos últimos anos. A dificuldade na identificação da causa desse comprometimento se deve à atuação simultânea de diversos fatores no sistema de cultivo, exigindo conhecimentos das interações água, solo e planta para sua melhor compreensão. Esses fatores podem ser basicamente divididos em dois grupos. O primeiro grupo inclui aqueles de ordem química, como os causados pelo efeito residual de herbicidas, pelo acúmulo excessivo de nutrientes no solo e pela presença de alumínio tóxico em camadas de solo em que a correção não foi realizada. No segundo grupo, encontram-se aqueles de ordem física, causados pela compressão do solo, resultando na restrição ao desenvolvimento radicular das plantas.

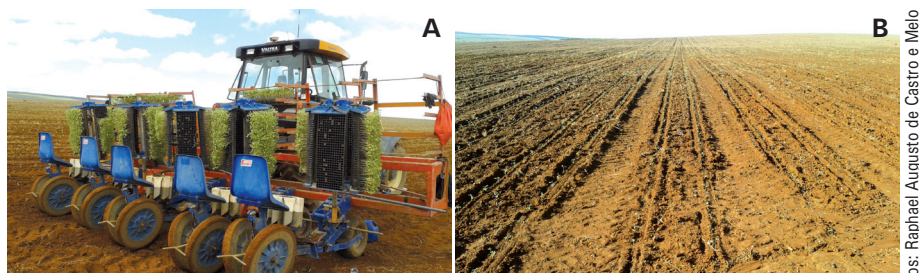
A denominação “compactação” abrange o segundo grupo de fatores e ocasiona diversos prejuízos aos sistemas de produção. No contexto da tomaticultura industrial, os efeitos desse segundo grupo de fatores são os predominantes. O presente trabalho tem por objetivo disponibilizar a produtores, técnicos e aos representantes dos demais elos da cadeia, informações referentes à compactação do solo, para permitir o correto diagnóstico, sua prevenção e sua correção, apresentando, também, alternativas de manejo.

Caracterização da compactação e seus efeitos

A necessidade de produzir alimentos em escala competitiva e de maximizar o uso das áreas irrigadas resulta em sistemas de produção com uso intensivo de solo e água. Consequentemente, uma série de problemas tem sido observada nas lavouras, resultando em menores produtividades, elevação dos custos de produção, desequilíbrios nutricionais, fitossanitários, aumento de erosão, redução da qualidade de frutos e compactação do solo.

A compactação é definida como um processo de redução de volume (compressão) de um solo por causas de natureza antropogênica. Devido à compressão, ocorre um rearranjo das partículas do solo e a forma, assim como o tamanho dos agregados, são alterados, resultando no aumento da densidade, no decréscimo do espaço poroso, na expulsão de ar e, em alguns casos, de água (SÁ; SANTOS JÚNIOR, 2005; DEBIASI et al., 2008).

No cultivo de tomate industrial, as operações realizadas previamente ao plantio, durante o transplante e durante a condução da lavoura exigem, em sua maioria, maquinário pesado e potente (Figura 1).



Fotos: Raphael Augusto de Castro e Melo

Figura 1 (A e B). Mudanças de tomateiro em máquina para transplante (A) e aspecto do solo após seu estabelecimento (B).

Essas operações são realizadas levando-se em conta o dinamismo exigido pela escala de produção das áreas e são motivadas principalmente pela rapidez dos processos mecanizados, pelo melhor aproveitamento das janelas climáticas e pela necessidade de se evitar a contaminação do produto colhido com resíduos de solo, para que não haja depreciação. A realização de operações que pulverizam e compactam o solo visam tornar sua superfície extremamente plana e lisa (Figura 1 B, Figura 2 A). No entanto, ainda que a finalidade seja essa, em longo prazo a tendência é a formação de torrões de solo (Figura 2 B) junto ao produto colhido nas áreas de produção.

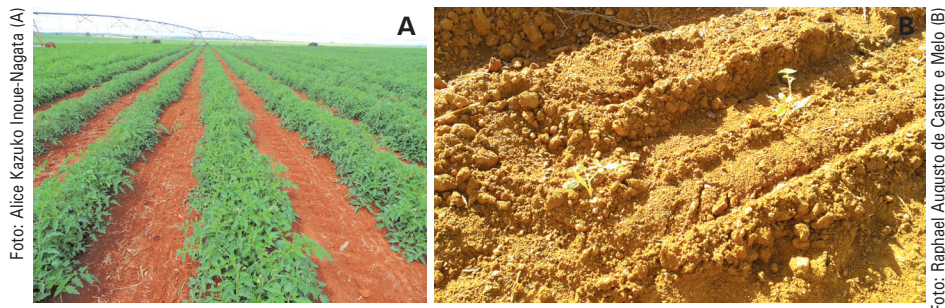


Figura 2 (A e B). Campo de tomate para processamento industrial apresentando solo com superfície plana (A) de forma a evitar a contaminação do produto e torrões que se desprendem do solo após os efeitos de sua intensa mobilização (B).

Entre as opções de preparo do solo, a escolha depende da disponibilidade de equipamentos, da textura e grau de compactação do solo e do sistema de plantio. Nas áreas produtoras, a primeira operação a ser realizada é a subsolagem ou aração profunda (profundidade superior a 30 cm). Para ter ação lateral de quebra da camada adensada, a subsolagem é feita na condição de umidade em que o solo se parte com a aplicação de uma força (por exemplo, ao ser pressionado sobre a mão) e não na condição de umidade em que ele se molda como uma massa (solo excessivamente úmido para operações mecanizadas).

Em solo muito seco, é comum a ocorrência de torrões grandes, dificultando as demais operações de preparo e plantio. Portanto, algumas vezes, torna-se necessário realizar uma irrigação antes da aração ou da subsolagem. Após a subsolagem, utiliza-se grade aradora e completa-se o destorroamento com grade niveladora. Desse modo, tenta-se promover a redução da compactação por meio do preparo mais profundo do solo, evitando-se, sempre que possível, apenas o uso da grade aradora.

Um bom nivelamento e destorroamento são obtidos, notadamente com o posterior uso de um rolo destorroador/compactador, na maioria das vezes com três articulações. Porém, esse preparo nem sempre resulta em condições adequadas para o crescimento vegetal.

Esse tipo de preparo de solo, além de quebrar os torrões, rompe também os seus agregados naturais, fazendo com que as partículas mais finas se desprendam e sejam carregadas pela água. Enquanto a água infiltra no solo, as partículas de argila tendem a se depositar nos macroporos, resultando no aumento da densidade e agravando a compactação. Esse processo é conhecido como colmatação (GOEDERT et al., 2005).

Plantas de tomateiro cultivado em áreas compactadas vão apresentar raiz principal (pivotante) ausente ou sem crescimento vertical (em profundidade), consequência da diminuição do tamanho dos poros pela compressão do solo, deposição de partículas e pelo aumento da resistência mecânica, impedindo sua passagem.

Como estratégia de defesa, a planta expande a produção de raízes finas com diâmetros que possam passar pelos poucos poros restantes, resultando em um sistema radicular muito denso e raso que cresce lateralmente e que, em condições de campo, dificilmente sobrevive a períodos de seca (CAMARGO; ALLEONI, 2006) (Figura 3). Em campo, a restrição de água e consequentemente de nutrientes (notadamente pela ação de seu transporte e demais processos fisiológicos associados) faz com que as plantas apresentem alterações em sua altura, área foliar, diâmetro do caule, espessura da célula epidérmica e parede celular, entre outros parâmetros (GRZESIAK et al., 2016).



Figura 3 (A e B). Plantas de tomateiro rasteiro em estágio de frutificação, apresentando sistema radicular denso e raso (A), com raiz pivotante ausente (A) ou crescendo lateralmente (B).

Essas sérias restrições fazem com que sintomas de deficiência (cloroses) e nanismo surjam em tomateiros cultivados nesses solos compactados em reboleiras ou em manchas (Figura 4), levando muitas vezes o produtor a aplicar água e fertilizantes em excesso na tentativa de sanar o problema.

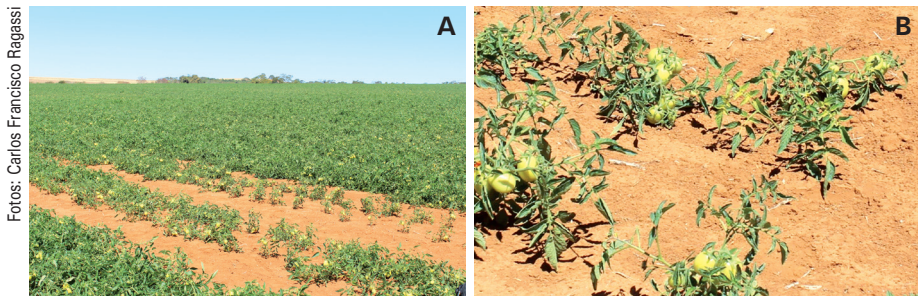


Figura 4 (A e B). Reboleiras ou manchas com plantas raquíticas (A) e, no detalhe, plantas com sintomas de clorose e restrição de crescimento (B) em função dos efeitos da compactação em área de produção comercial em Vianópolis, GO.

O tempo para a ocorrência de condições restritivas, caracterizadas pelo estado de compactação do solo, e a forma como as culturas respondem a essas condições restritivas são variáveis (GUBIANI, 2008) e carecem de resultados de pesquisa com tomateiro.

Métodos para identificação de camadas compactadas e graus de compactação

Para avaliar o estado de compactação de um solo, existem vários procedimentos, que vão desde observações visuais até métodos de análise laboratorial.

Qualitativamente, observações da presença de água sobre a superfície do solo após chuva ou irrigação por um tempo

prolongado (empoçamento), além da visualização de deformações na estrutura radicular das plantas por meio da abertura de trincheiras, são algumas das formas utilizadas. De forma quantitativa, os métodos mais comuns para avaliação do estado de compactação do solo são: (a) avaliação da resistência mecânica à penetração, com o uso de um penetrômetro, e (b) determinação da densidade do solo (GOEDERT et al., 2005).

Na sequência, três métodos passíveis de execução na propriedade serão apresentados:

Trincheiras

O uso de trincheiras (Figura 5) é um método qualitativo para identificação de camadas compactadas por meio da observação do sistema radicular.

A abertura de trincheiras deve ser realizada preferencialmente de modo manual com ferramentas adequadas (picareta, piceta, pá reta com bordas cortantes e forcado), escolhendo-se um local com clareza adequada para visualização do perfil do solo (BLANCANEUX et al., 1995). É recomendado delimitar os arredores com alguma marcação ou sinalização, para que não haja interferências.

A trincheira deve ser aberta perpendicularmente em relação à direção da passagem dos implementos (arado, grade, entre outros) de modo a permitir a observação das variações induzidas pela pressão do trânsito e do pisoteio. O comprimento da trincheira deve ser no mínimo igual a três vezes a distância entre as linhas dos implementos, de modo a seccionar pelo menos dois sulcos de passagem. A largura da trincheira deve ser suficiente (variando de 1,00 m a 1,20 m) para que um observador possa ser comodamente instalado durante a descrição dos horizontes de solo e observação do crescimento radicular (REATTO et al., 2003).

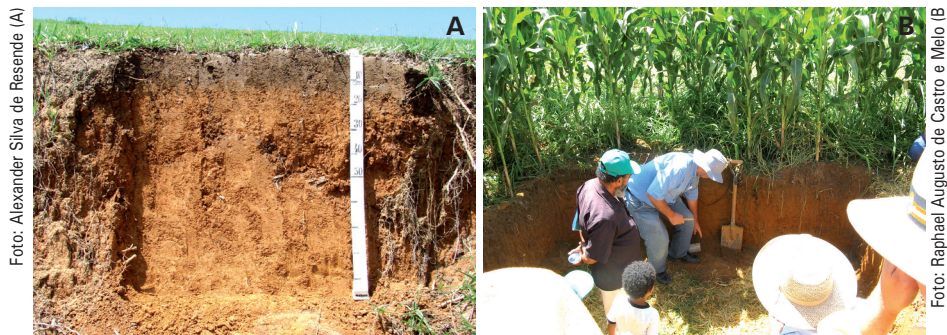


Figura 5 (A e B). Trincheira para caracterização de perfil de solo (A) e observação do sistema radicular de milho consorciado com forrageira (B).

Nas trincheiras, atributos do solo, como estrutura (macro e micro), coesão, umidade, presença de matéria orgânica (húmus e resíduos) e de atividade biológica (pequenos animais e microrganismos), cheiro, aparência, resistência ao toque e à inserção de um instrumento de lâmina (faca ou canivete) devem ser observados.

Esses atributos permitem separar o solo em horizontes, começando pelo mais profundo e homogêneo, até os horizontes mais rasos, verificando-se os que estão em equilíbrio com a cobertura (palhada superficial deixada por culturas anteriores ou por deposição natural) e os que são mais suscetíveis ao manejo adotado. Um ponto de extrema importância é a detecção de uma estrutura maciça e de agregados com arestas ou angulares (com quinas pontudas) presente em um dos horizontes, que se caracteriza pela área compactada.

Em relação ao desenvolvimento de raízes no perfil da trincheira, uma concentração das raízes nas camadas superficiais, quando há impedimento físico ao seu desenvolvimento, é normalmente observada. Em locais com “pé-de-grade”, essa compactação é observada subsuperficialmente. Contudo, por ser um método de análise visual, as trincheiras apresentam limitações que possibilitam apenas identificar a camada compactada, sem haver um parâmetro pelo qual se possa caracterizar o grau de compactação e determinar medidas a serem

tomadas para sua correção (SÁ; SANTOS JÚNIOR, 2005; GOEDERT et al., 2005).

Penetrometria

Um dos indicadores quantitativos mais comumente utilizados para o diagnóstico de compactação do solo é o Índice de Cone (IC), obtido a partir de um instrumento chamado penetrômetro (MOLIN et al., 2012).

O penetrômetro consiste basicamente de uma haste com ponta de formato cônico cujo ângulo é padronizado. Nele, há uma mola ou célula de carga (Kg) que registra a força exercida, que ao ser dividida pelo tamanho da área da base do cone, é expressa em KPa (quilopascal) ou MPa (megapascal) (SÁ; SANTOS JÚNIOR, 2005).

Existem no mercado vários tipos e modelos de penetrômetros, desde os mais simples, como o penetrômetro de impacto; os penetrógrafos mecânicos; os penetrômetros mecânicos com manômetro ou dinamômetro (Figuras 6 A e 7 A); até os que coletam e armazenam dados, como os penetrômetros eletrônicos (Figura 6 B e 7 B), operados manual ou hidráulicamente.

Como referência, valores acima de 2 MPa ou 2000 kPa são considerados limitantes. No entanto, para estabelecer valores críticos específicos para o tomateiro industrial, mais estudos são necessários, considerando a abrangência das áreas de cultivo, tipos de solos e a resposta de diferentes cultivares.

O sistema radicular das hortaliças geralmente explora uma profundidade de solo variando de 30 a 50 cm. Devido à mobilização do solo, as áreas de produção frequentemente apresentam valores superiores a 2 MPa dentro dessa profundidade, indicando a necessidade de medidas de correção.

A comparação entre a área com plantas mal desenvolvidas (deficientes) apresentada na Figura 4 e uma área adjacente, com plantas

Fotos: Raphael Augusto de Castro e Melo



Figura 6. Penetrômetro de mola com dinamômetro (A) e penetrômetro eletrônico (B) em avaliação de compactação de áreas de produção de tomate industrial em Cristalina e Silvânia, GO.

Fotos: Raphael Augusto de Castro e Melo

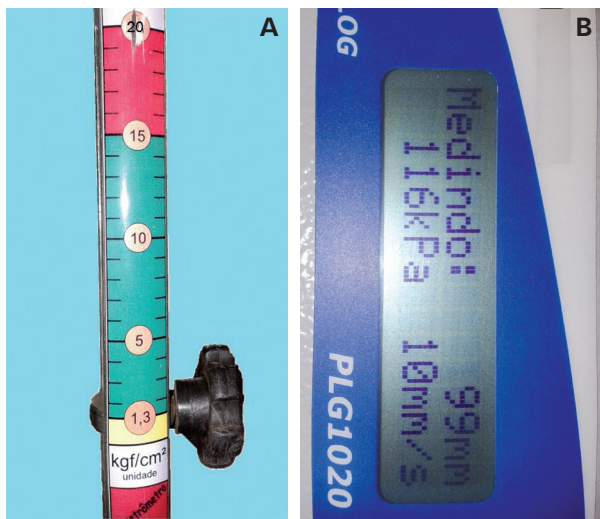


Figura 7 (A e B). Barra de leitura do penetrômetro com dinamômetro (A), onde a cor verde indica valores dentro da faixa considerada aceitável e em vermelho, com possível compactação. Penetrômetro eletrônico (B) com leitura digital em kPa.

apresentando desenvolvimento normal, foi realizada por meio de um penetrômetro eletrônico, amostrando-se 10 pontos em cada uma das áreas. Os valores de IC obtidos (Figura 8) revelaram que o início da camada de solo compactada (camada apresentando resistência à penetração superior a 2000 kPa) ocorreu a uma profundidade de 15 cm na área com plantas deficientes, e a aproximadamente 20 cm na área de plantas com desenvolvimento normal.

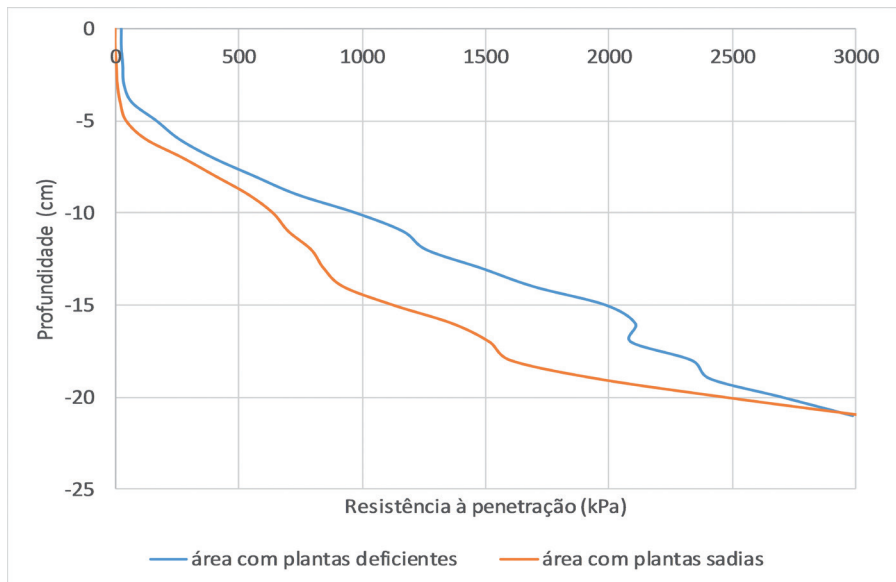


Figura 8. Valores de índice de cone (em kPa) de áreas de reboleiras com plantas de tomate mal desenvolvidas (linha azul) e plantas apresentando desenvolvimento normal (linha cor-de-laranja).

Em outras palavras, a resistência à penetração nas reboleiras com plantas deficientes atingiu o valor restritivo (2000 kPa) mais próximo da superfície que na área de plantas com desenvolvimento normal. Isso significa que as plantas localizadas fora das reboleiras puderam se aprofundar cerca de 5 cm a mais no solo. Essa diferença na profundidade do sistema radicular e, portanto, no volume de solo que

pode ser explorado pelas raízes, embora pequena, pode ser a explicação do baixo desenvolvimento das plantas verificado nas reboleiras, considerando-se que a ocorrência de compactação, principalmente nas camadas superficiais do solo, impacta de maneira drástica o desenvolvimento das plantas (STALHAM et al., 2007).

Por outro lado, uma limitação da penetrometria é que os valores de IC variam também em função da umidade (SÁ; SANTOS JÚNIOR, 2005). A interação/associação entre a análise da densidade do solo e a penetrometria é um fator fundamental para se obter uma representação mais autêntica do estado de compactação. Medições realizadas em solo seco podem fornecer índices elevados, provendo um diagnóstico errôneo do grau de compactação (SÁ; SANTOS JÚNIOR, 2005). O oposto também ocorre logo após as operações de preparo em solos desestruturados, que podem apresentar valores baixos de densidade do solo, o que não significa, entretanto, que o solo apresenta boa qualidade física. A baixa quantidade de leituras para a obtenção de valores de IC é outro fator que pode acarretar em falhas no diagnóstico. Recomenda-se a coleta de dados com pelo menos dez repetições por ponto amostral, visando diminuir a margem de erro (MOLIN, 2012).

Densidade e porosidade

A densidade do solo é uma característica física importante utilizada como uma medida indireta de sua estrutura. Um aumento na densidade significa uma redução em sua porosidade. A diminuição da porosidade pode refletir possíveis problemas com aeração e infiltração de água, redundando na compactação. Em geral, um solo com estrutura estável terá menor densidade do que um solo com estrutura instável, mais suscetível à compactação.

A obtenção desses parâmetros é realizada por meio da coleta de uma amostra indeformada de solo com trado contendo um anel volumétrico, seguida de métodos laboratoriais e de operações matemáticas para seu cálculo.

Exemplo de procedimento para cálculo da porosidade total do solo:

Uma amostra é retirada com um anel de diâmetro interno de 6 cm e de 8 cm de comprimento (h). Essa amostra é seca em estufa a 105° C, passando a apresentar massa seca, por exemplo, de 230 g. Para determinar o volume total (V_t), primeiramente o seu raio (r) é calculado, representando metade do diâmetro $\rightarrow r = \frac{1}{2} (6) = 3$ cm. O cálculo do volume do cilindro é obtido pela fórmula ($V = \pi r^2 h$). Assim $V_t = (3,14) (3 \text{ cm})^2 (8 \text{ cm}) = 226 \text{ cm}^3$. A densidade (ρ) é dada pela divisão da massa seca (230 g) pelo V_t (226 cm^3), sendo $230 \text{ g} / 226 \text{ cm}^3 = 1,01 \text{ g cm}^{-3}$.

A densidade de partículas (ρ_s) é a massa de sólidos do solo (M_s) dividida pelo volume de sólidos (V_s), obtida pelo método do balão volumétrico. Em geral, os valores encontram-se entre 2,3 e 2,9 g cm^{-3} . Considerando o solo acima, que possui uma densidade (ρ) de 1,01 g cm^{-3} e uma densidade de partículas (ρ_s) de 2,65 g cm^{-3} (valor médio encontrado nos principais constituintes minerais nos solos - quartzo, feldspatos e silicatos), por meio da fórmula abaixo, se obtém sua porosidade total:

$$f = [1 - \rho / \rho_s] 100\%$$

$$\rho / \rho_s = 1,01 \text{ g cm}^{-3} / 2,65 \text{ g cm}^{-3} = 0,381.$$

$$f = [1 - 0,381] 100\%$$

$$f = 61,9\%$$

Uma parte desse volume poroso corresponde aos poros de calibre pequeno ou microporos (diâmetro inferior a 30 μm), que são responsáveis pelo armazenamento de água. A outra parte corresponde aos poros de calibre grande ou macroporos (diâmetro superior a 30 μm), que são os poros livres de água e, portanto, são responsáveis pela difusão de ar até as raízes (BREWER, 1976). Porosidade com ar de 10% é o mínimo necessário para o bom desenvolvimento das plantas (XU et al., 1992).

Prevenção e correção da compactação

Prevenção

Embora não existam níveis críticos bem estabelecidos para os indicadores físicos (densidade, porosidade, permeabilidade, resistência à penetração, entre outros), a avaliação desses parâmetros pode ser útil para monitorar as condições de uma área compactada.

O monitoramento é uma prática que deve ser realizada periodicamente, com vistas à prevenção da compactação e seus efeitos supracitados. Sugere-se para o tomateiro industrial a adoção de valores de referência aplicados ao monitoramento de áreas de produção no Cerrado (Latossolos), sendo os valores fora dos limites sugeridos um indicativo da necessidade de correções e do uso de alternativas de manejo:

- Densidade do solo – valores devem ser abaixo de $1,5 \text{ g/cm}^3$;
- Porosidade total – valores devem ser superiores a 50%;
- Resistência mecânica à penetração – valores devem ser inferiores a 2000 kPa.

Fonte: adaptado de Goedert et al (2005).

Em adição ao monitoramento por meio de indicadores físicos, o sistema de tráfego controlado do maquinário é uma das técnicas que auxiliam na prevenção da compactação. Ele é fundamentado no confinamento das linhas de tráfego de máquinas e equipamentos em locais específicos dentro das áreas de produção, restringindo a compactação a locais permanentes. Dessa forma, a maior área possível é mantida isenta de tráfego (GIRARDELLO et al., 2014).

Para essa operação, são necessários ajustes nas bitolas dos implementos, a padronização de espaçamentos, assim como de ferramentas de orientação automáticas que garantam que os rodados trafeguem na área destinada ao tráfego, contribuindo para operações

perfeitamente paralelas e que não dependam exclusivamente da habilidade do operador (MOLIN et al., 2011).

Na região da Califórnia, Estados Unidos, Abidine et al. (2004) estabeleceram protocolos para sistemas automáticos de orientação, com maquinário para adubações e pulverizações trafegando à velocidade de 11 Km/h e fora das linhas de plantio (5 cm de distância). Esse procedimento causou danos mínimos a plantas de tomateiro industrial, evitando interferências em seu desenvolvimento e produção nas condições de cultivo da região.

Mesmo com a ampla utilização da agricultura de precisão e de sistemas automatizados nas condições brasileiras, poucas pesquisas, como as realizadas na Califórnia, que comparam as vantagens e o desempenho do sistema de tráfego dirigido, foram realizadas em hortaliças. Tais resultados beneficiariam não só o cultivo de tomate industrial, mas outras hortaliças que são cultivadas em larga escala, como alho, abóbora japonesa, batata, beterraba, cebola, cenoura, entre outras, carecendo de maior atenção das empresas e profissionais atuantes no segmento.

Outra medida preventiva no aspecto da mecanização é substituir os pneus convencionais por pneus de baixa pressão e alta flutuação (BPAF ou pneu terra), que visam maior área de contato com o solo, resultando em uma menor pressão de compactação, embora aumente a área afetada.

Correção com operações mecanizadas

Havendo necessidade de correção dos problemas oriundos da compactação, operações mecanizadas específicas devem ser realizadas. A correção da compactação é um processo que envolve a mobilização em condições específicas, principalmente em condição de baixo teor de água no solo. Geralmente, em áreas de produção no Cerrado com solos de textura argilosa, a condição para realizar operações mecanizadas

é aquela em que o solo se apresenta friável, ou seja, se despedaça quando uma força é aplicada (por exemplo, com o apertar da mão), em vez de se deformar como um material moldável, o que aconteceria em condição demasiadamente úmida.

Recomenda-se a utilização de escarificadores de hastes flexíveis para casos de compactação leve e solos mais arenosos. No entanto, para solos argilosos e/ou altamente compactados, a utilização de um subsolador (com haste rígida) e alcance de pelo menos 40 cm de profundidade é o mais recomendável, embora essa operação exija um trator de maior potência.

Opcionalmente, encontra-se em uso principalmente no cultivo de cana-de-açúcar, um implemento que realiza simultaneamente subsolagem, aplicação e incorporação de corretivo, enleiramento da palha e quebra dos torrões. Por trabalhar em faixas, com a confecção de canteiros baixos, esse equipamento pode ser uma alternativa para áreas de produção de tomate industrial que apresentam solos compactados (RODRIGUES; PRADO, 2014).

Não obstante, operações mecanizadas são complicadas e onerosas, e nem sempre eliminam a compactação, especialmente quando ela ocorre em subsuperfície, havendo a possibilidade de recompactação (DEBIASI et al., 2008).

Dessa forma, a melhor maneira consiste em conjugar medidas de prevenção e correção com o uso de alternativas de manejo como plantas de cobertura e sistemas conservacionistas de plantio.

Alternativas de manejo

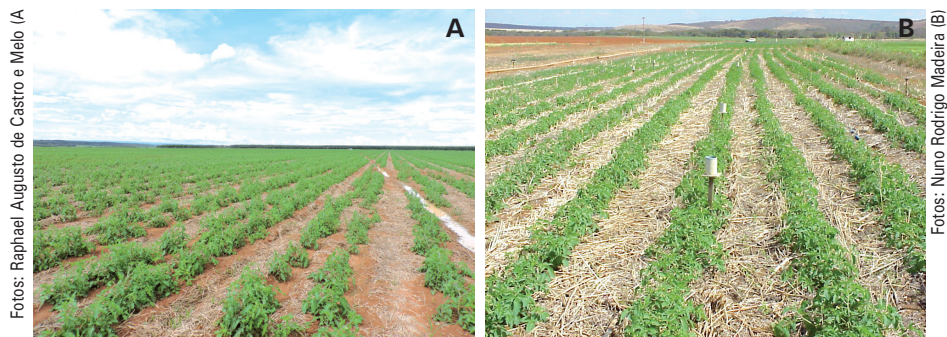
Sistemas conservacionistas

Sistemas conservacionistas que privilegiem a rotação de culturas, revolvimento mínimo e formação de fitomassa (palhada) sobre a

superfície estão entre as opções para reverter condições inadequadas do solo. Desde que sejam adotados de modo correto, esses sistemas apresentam diversas vantagens sobre o convencional, como redução das perdas de solo da ordem de 70%; diminuição das taxas de perda de água em até 90%; e incremento dos teores de matéria orgânica. Pesquisas realizadas ao longo de anos evidenciam que, para o estabelecimento desses sistemas, alguns pré-requisitos relacionados ao manejo e à conservação do solo são necessários, a saber:

- A área de plantio deve estar nivelada, sem impedimentos às operações de plantio, manejo e colheita;
- O solo não deve apresentar acidez elevada no horizonte superficial;
- Nutrientes com baixa mobilidade e necessidade de incorporação no solo, como o fósforo, devem ser corrigidos previamente;
- A compactação do solo abaixo da camada arável (pé-de-grade) deve ser corrigida com operações mecanizadas antes da sua introdução;
- Devem ser selecionadas espécies para produção de palhada e manutenção de cobertura adequada da superfície do terreno;
- Planejar um esquema de sucessão ou rotação de culturas.

No cultivo de tomate industrial, o Sistema Plantio Direto (SPD) e o Plantio com Preparo Reduzido (PPR) já são adotados por uma parcela significativa de produtores. O SPD é fundamentado em três requisitos básicos: revolvimento mínimo do solo, restrito às covas ou aos sulcos de plantio; diversificação de espécies pela rotação de culturas; e manutenção de resíduos vegetais com o uso de culturas específicas para formação de palhada na superfície do solo. O PPR se diferencia do SPD pela mobilização com passagem de grade niveladora parcialmente fechada de modo a incorporar superficialmente a palhada sobre o solo, o que facilita as operações de transplantio e adubação (MADEIRA; MELO, 2010).



Fotos: Raphael Augusto de Castro e Melo (A)

Fotos: Nuno Rodrigo Madeira (B)

Figura 9 (A e B). Tomateiro industrial em SPD sobre palhada de braquiária (*Urochloa ruziziensis*) (A) e em palhada de milho (B).

Nas condições de Abadia de Goiás, GO, Madeira e Melo (2010) obtiveram produtividade superior no PPR ($126,5 \text{ t ha}^{-1}$) utilizando-se o híbrido Heinz 9992 diferindo estatisticamente do cultivo convencional, SPC ($124,3 \text{ t ha}^{-1}$). No SPD, mesmo com a maior produção por planta, a ligeira capacidade compensatória observada não foi suficiente para compensar as falhas no estande, em média de 20,5% no Plantio Direto, obtendo-se média de $110,8 \text{ t ha}^{-1}$. Certamente, resolvendo o problema de falhas no plantio, o SPD teria expressado todo seu potencial produtivo, o que se pôde perceber pela produção individual de plantas ($4,6 \text{ kg planta}^{-1}$). Portanto, devem ser feitas adaptações na sulcadora-adubadora para reduzir as deficiências observadas. No PPR e, especialmente, no SPD, os frutos não se desenvolvem diretamente sobre o solo, mas sobre a palhada, reduzindo a ocorrência de podridões. O PPR apresentou 2,89% de frutos podres ou $132 \text{ g planta}^{-1}$, e o SPD 2% de frutos podres ou 93 g planta^{-1} .

Em Brasília, DF, Marouelli et al. (2006) em um experimento avaliando o uso de água na produção de cultivares de tomateiro industrial, a produtividade de frutos foi maximizada na quantidade de palhada de 6 t ha^{-1} , e a taxa de frutos podres minimizada para $5,2 \text{ t ha}^{-1}$. A eficiência do uso de água pelas plantas não foi afetada pela quantidade de palhada, porém, o SPD foi 23% mais eficiente que o SPC.

Em Passo Fundo, RS, no cultivo de milho sob SPD, Nunes et al. (2015) mostraram que a utilização de uma semeadora com facões de profundidade de 0,17 m apresentou alto potencial de melhorar as condições físicas de crescimento das raízes do solo em solos argilosos. Este tipo de semeadora pode quebrar a camada de solo compactada e mantém os resíduos da cultura no solo superior. A eficácia da utilização de maquinário para as operações de abertura de sulcos e adubação na tomaticultura industrial deve considerar, porém, os cultivos antecedentes em que sistemas radiculares profundos e a quantidade de biomassa produzida podem ser utilizados, além das operações posteriores como o transplântio mecanizado.

Em cultivos de grãos tais como feijão, soja, entre outros, ainda que sejam identificadas camadas compactadas na superfície, as produtividades sob SPD são similares às obtidas com preparo do solo com grade ou com arado (STONE; SILVEIRA, 2001). A compactação em SPD é forçosa pelo tráfego de máquinas sistemático. No entanto, em longo prazo, a concentração da compactação em superfície pode ser de mais fácil remoção, considerando-se o ponto de vista prático e econômico, comparativamente a ocorrência de compactação em camadas subsuperficiais como ocorre no SPC (TORMENA et al., 1998). Estudos ao longo do tempo que avaliem propriedades físicas e outras variáveis como sistema de tráfego, intensidade de revolvimento nas operações de sulcamento/adubação, entre outros, a exemplo dos realizados com grãos, são prementes na tomaticultura industrial.

Plantas de cobertura para rotação/sucessão

O cultivo de tomateiro por mais de um ciclo produtivo na mesma área pode acarretar problemas pela multiplicação de pragas. Assim, recomenda-se que sejam evitadas áreas que tenham sido cultivadas nos últimos 3-4 anos com outras plantas da família Solanaceae, tais como batata, pimentão, entre outras, fazendo rotação com plantas da família Cucurbitaceae, tais como abóbora, moranga, ou Aliaceae, tais como cebola, alho, entre outras espécies. Áreas com cultivos anteriores de gramíneas (milho e sorgo) e leguminosas (feijão e soja) são as mais indicadas.

Em muitas áreas, não há rotação verdadeira de culturas. Cultiva-se tomateiro antecedido por outras culturas, mas na mesma época do ano seguinte, planta-se o tomateiro novamente. Apesar de ser melhor que uma monocultura, esse sistema não apresenta as mesmas vantagens dos sistemas de rotação em que o tomateiro retornaria à mesma área somente após 3 ou 4 anos. Muitos produtores, no entanto, se esforçam para não cultivar na mesma área por anos consecutivos, o que já é extremamente benéfico ao sistema de produção.

No clima tropical, em um ecossistema natural intacto, o solo recebe depósitos de folhas e outras partes dos vegetais sobre sua superfície durante o ano inteiro. Além disso, raízes crescem continuamente em diferentes faixas de profundidade e ocupam parte dos espaços porosos entre as partículas de solo, secretando substâncias que alimentam uma diversidade de microrganismos. As substâncias secretadas pelas raízes e sua própria decomposição, assim como das secretadas pela fauna edáfica (do solo) que além de alterar a porosidade do solo, apresenta diversas relações de mutualismo e predação com microrganismos e invertebrados edáficos e participa ativamente na ciclagem de nutrientes no solo, dão estrutura aos poros do solo, analogamente ao que ocorre com a estrutura de um túnel de concreto. Nessas condições, os poros formados são “cimentados”, tornando-se estáveis e resistentes à água. Os poros tornam-se, também, contínuos, visto que todo o processo descrito ocorre ao longo das raízes, em toda ou grande parte de sua extensão.

No ecossistema convertido para a produção agrícola, ou agroecossistema, o manejo de solo deve oferecer as condições mais próximas possíveis do natural. Se isso não ocorre, a matéria orgânica e os poros do solo são continuamente reduzidos, e esse processo é ainda mais acelerado pelo trânsito de máquinas e pessoas sobre o solo excessivamente úmido (solo com umidade acima do ponto de friabilidade, em que os torrões se despedaçam com a pressão), assim como pela realização de preparo de solo repetidamente na mesma profundidade de solo (normalmente as operações de aração e gradagem alcançam 20 cm de profundidade).

A realização de rotação de culturas com plantas altamente eficazes na produção de biomassa e caracterizadas por terem um sistema radicular abundante, profundo e agressivo é uma estratégia para melhorar a qualidade física do solo. Essa estratégia é conhecida também como adubação verde e é muito adequada para os sistemas de produção de hortaliças, que, por característica das próprias espécies, fornecem poucos resíduos vegetais ao solo.

O adequado planejamento da rotação de culturas permite a utilização de espécies vegetais caracterizadas por sistemas radiculares capazes de atingir diferentes profundidades, o que proporciona o aproveitamento de nutrientes armazenados em diferentes camadas no perfil do solo. A rotação de culturas possibilita, ainda, a combinação e/ou alternância de plantas com diferentes exigências nutricionais e habilidades na absorção de nutrientes. Assim, nutrientes que não são absorvidos por uma determinada planta, seja por sua localização em camadas abaixo da zona de ação do sistema radicular, seja pela baixa eficiência de absorção, podem ser aproveitados por outras espécies vegetais e, a partir da decomposição da palhada, tornarem-se disponíveis.

As culturas componentes de um sistema de rotação de culturas devem atender ao maior número possível dos seguintes princípios:

- Produzir fitomassa em quantidade e qualidade suficiente da parte aérea e raízes visando ao aumento do teor de MOS (Matéria Orgânica do Solo) e à formação de cobertura morta para controlar os processos erosivos, diminuindo as oscilações de temperatura e reduzindo perdas de água por evaporação;
- Promover condições favoráveis de solo que possibilitem o crescimento normal da planta e diminuam a sua suscetibilidade aos danos de pragas e doenças e/ou contribuam para a formação de um ambiente supressor às mesmas;
- Apresentar exigências nutricionais e capacidade de aproveitamento de nutrientes diferentes das culturas (solanáceas x gramíneas, por exemplo);

- Apresentar suscetibilidade a pragas e doenças diferentes, evitando as espécies que sejam hospedeiras de pragas e doenças de importância econômica para as culturas principais;
- Permitir a diversificação de princípios ativos e mecanismos de ação de herbicidas, inseticidas e fungicidas, visando evitar a seleção de espécies/biótipos tolerantes/resistentes;
- Reduzir o tempo em que a área permanece sem culturas vivas, contemplando a inclusão, em alguma fase, de culturas caracterizadas por alta produção de fitomassa e sistema radicular profundo, agressivo e abundante;
- Resultar em renda direta pela produção de grãos, sementes ou forragem ou indireta através de efeitos positivos sobre as culturas subsequentes.

Nesse contexto, deve-se, ainda, levar em consideração a maior capacidade de produção das plantas adaptadas ao clima tropical, tais como as gramíneas, o que consequentemente resulta na maior capacidade de fornecer material vegetal para o solo. Algumas espécies utilizadas como cultura para rotação/sucessão e formação de palhada são apresentadas a seguir. A escolha adequada da sucessão de culturas com a utilização de plantas de cobertura ou de adubos verdes é fundamental para a formação de uma boa palhada, devendo ser considerados os fatores mencionados anteriormente para a decisão de qual espécie eleger.

Entre as espécies adaptadas às condições edafoclimáticas do bioma Cerrado, estão:

Gramíneas

- Milho (grãos/palhada);
- Milheto;
- Sorgo (grãos/pastejo);

- Braquiárias;

Leguminosas

- Soja;
- Feijão-caupi;
- Mucunas;
- Crotalárias.

A consorciação ou sobresemeadura de espécies, para que se obtenham os diferentes benefícios de uma boa palhada mencionados, pode ser uma opção interessante nas culturas antecedentes ao tomateiro plantado no período do cedo (transplântio de mudas em fevereiro, março e início de abril). Em função da oferta ambiental, considerando a ocorrência histórica de veranico em janeiro e a irregularidade de pluviosidade nos meses de fevereiro e março, além da produção de biomassa por culturas antecedentes em monocultivo muitas vezes aquém da quantidade/qualidade necessária, ademais do potencial retorno econômico ao produtor com as culturas de soja e milho no verão, preponderante na tomada de decisão por qual rotação/sucessão adotar, a braquiária ganha destaque nesse cenário por atender os princípios supramencionados e possuir sinergia com a produção de soja e milho.

O consórcio do milho com braquiária (espécies *Urochloa ruziziensis* e *Urochloa brizantha* – preferencialmente a cultivar BRS Paiaguás no caso da espécie *U. brizantha* pela facilidade de dessecação e ausência de rebrota assim como *Urochloa ruziziensis*) deve ser plantado em diferentes profundidades ou com uso da terceira caixa (caixa acoplada à plantadeira que distribui as sementes do capim por meio de mangueiras, geralmente direcionadas para a base do disco de corte, facão ou disco da semente da semeadora). Utilizam-se 350 PVC (pontos de valor cultural) da forrageira nesse sistema de consorciamento e no estádio V3 do milho faz-se a supressão do capim por subdosagem de herbicidas (nicosulfuron, mesotrione, entre outros), permitindo a colheita do milho

e a cobertura da superfície pela forrageira (CECCON et al. 2013). Para a soja, a sobressemeadura a lanço de 200 PVC de *U. ruziziensis*, nos estádios R6 (sojas de ciclo médio ou tardio) ou R8 (sojas precoces ou superprecoces), resulta na formação de palha em quantidade suficiente para o sistema plantio direto, além de beneficiar o controle de plantas daninhas na cultura do milho em rotação (CORREIA; GOMES, 2015).

Em ambas as situações, recomenda-se o mínimo de 6 plantas por m² das espécies de braquiária, cuidados com a qualidade das sementes (garantias de germinação e pureza; e a utilização de sementes escarificadas e/ou incrustadas), além do momento adequado para a realização das operações de aplicação de herbicidas para que não ocorram impedimentos ao desenvolvimento e desempenho produtivo da soja e do milho, assim como efeitos da alelopatia pelo excesso de crescimento e biomassa deixada pela forrageira. Outro aspecto é a observação das condições climáticas para que não haja favorecimento da espécie em crescimento/desenvolvimento, no caso a forrageira, suprimindo a espécie a ser colhida, por exemplo, por chuvas abundantes no período.

Na sequência, características de algumas espécies para cultivo solteiro antecedendo o tomateiro em outras épocas são detalhadas, tais como milheto, milho, sorgo e mucuna-preta, que se apresentam como opções de rotação e sucessão.

O milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) (Figura 9) é originário da África. As espécies desse gênero caracterizam-se pela alta resistência à seca (utiliza 282 g de água para produzir cada 1g de matéria seca, contra 370 e 590 para o milho e o trigo, respectivamente) (BONAMIGO, 1995), adaptação a solos de baixa fertilidade, capacidade de ciclagem de nutrientes, ótima produção de resíduos vegetais para cobertura do solo, além de crescimento inicial rápido e boa capacidade de perfilhamento (PITOL et al., 1996). O milheto, entretanto, tem seu crescimento limitado em temperaturas inferiores a 18 °C (AIDAR et al., 2003). Em condições normais, pode atingir 1,50 a 1,70 m de altura aos 50-60 dias após a semeadura, com uma produção de 4 a 6 t ha⁻¹

de matéria seca (CALEGARI, 2004). Entretanto, pode chegar aos 100 a 120 dias e produzir em torno de 10 t ha⁻¹ de matéria seca (PITOL et al., 1996). Recomenda-se a utilização de população adensada. A lanço, pode-se utilizar de 50 kg ha⁻¹ a 100 kg ha⁻¹ de sementes puras e viáveis. A semeadura também pode ser feita em linhas, após o cultivo principal, aproveitando-se o resíduo da adubação. Antes da instalação da cultura principal, no início da época chuvosa, o milho é manejado com uso de máquina trituradora (Figura 10). Os resíduos são deixados sobre o solo para secagem por 30 dias e, entre 5 a 10 dias antes da implantação da cultura principal, a rebrota e as plantas daninhas devem ser manejados com uso de herbicida dessecante.



Figura 10 (A e B). Milheto utilizado como cultura para rotação/sucessão e formação de palhada.

O milho (*Zea mays* L.) (Figura 11 e 12) constitui-se em uma alternativa interessante, possibilitando ganho com a produção de grãos ou sementes. Um modelo de cultivo altamente tecnificado é empregado quando o milho é uma das culturas principais. O cultivo do milho apenas para a produção de palhada pode ser realizado, mas, em tal cenário, estratégias para redução do custo devem ser adotadas, tais como a utilização de híbridos duplos ou a de variedades (milho variedade ou “de paiol”) apenas para esse fim. Os resíduos vegetais do milho normalmente atingem de 6 a 7 t ha⁻¹ de matéria seca, com relação C/N ampla, de lenta decomposição.

Fotos: Raphael Augusto de Castro e Melo

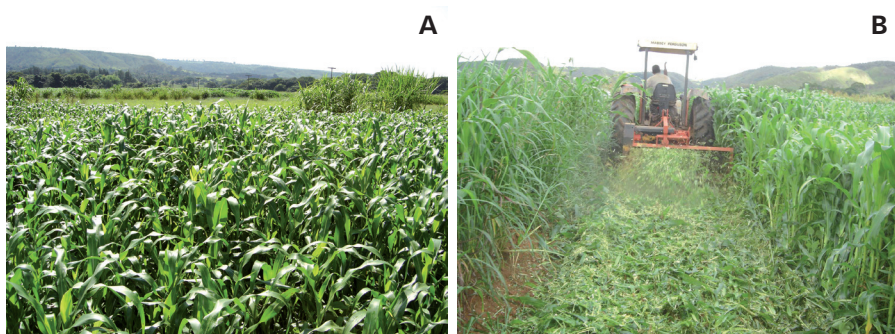
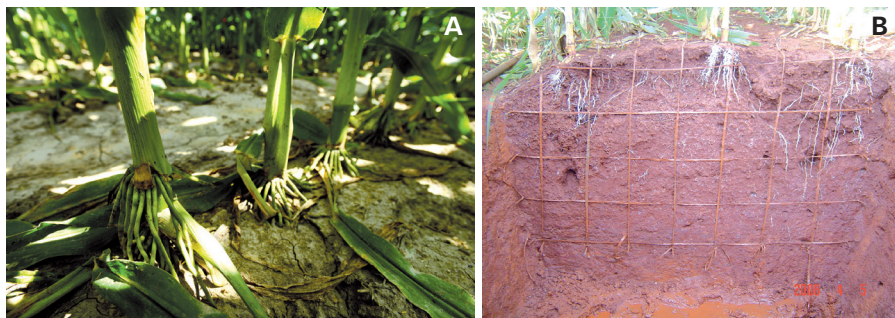


Figura 11 (A e B). Milho variedade de baixo custo utilizado como cultura exclusiva para rotação/sucessão e formação de palhada.

Fotos: Stephen Kirkpatrick - cortesia da USDA/NRCS (A)

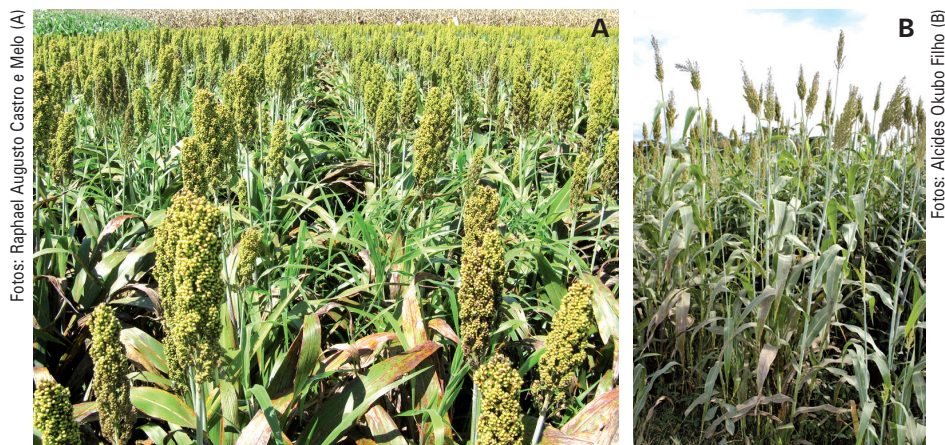


Fotos: Carlos Francisco Ragassi (B)

Figura 12 (A e B). Milho, utilizado como cultura para rotação/sucessão, com destaque para seu sistema radicular vigoroso (A) na superfície e no perfil (B).

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) é comumente cultivado como uma opção para produção de grãos na safrinha, para pastejo ou forragem (Figura 13). Como uma cultura de cobertura apropriada para o verão, tem potencial para produzir biomassa abundante (acima de 8 t.ha⁻¹), suprimir plantas daninhas e diminuir a compactação do solo. O sorgo também é caracterizado pelo seu potencial alelopático, exsudando sorgoleone, um inibidor do fotosistema II e outros ácidos orgânicos que também demonstraram inibir a germinação e o crescimento de plântulas e o crescimento de plantas transplantadas.

Compostos inibitórios adicionais ao sorgoleone também foram isolados de exsudatos das raízes de *Sorghum* spp. (CZARNOTA et al., 2001).



Fotos: Raphael Augusto Castro e Melo (A)

Fotos: Alcides Okubo Filho (B)

Figura 13 (A e B). Sorgo granífero e forrageiro como opções para rotação/sucessão.

A mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum* (Piper e Tracy) Merr.) (Figura 14) apresenta desenvolvimento vegetativo eficiente e acentuada rusticidade no Cerrado, adaptando-se bem às condições de deficiência hídrica e de temperaturas altas (BURLE et al., 2006). Floresce e frutifica de maneira variável, com sua semeadura podendo ser efetuada em diferentes períodos no verão, pois não possui reação ao fotoperíodo, portanto as fitomassas verde e seca produzidas não diminuem quando comparadas a outras plantas utilizadas para adubação verde (AMABILE et al. 1996). A produtividade de matéria fresca da mucuna-preta em cultivo exclusivo pode atingir os limites de até 40 t ha⁻¹ (ALCÂNTARA; BUFARAH, 1988).

O consórcio milheto com mucuna-preta apresentou maior produtividade de matéria seca como planta de cobertura para o plantio direto de feijão. Quando consorciada com o milho, mostrou-se que a quantidade de nitrogênio da mucuna-preta residual no solo após o cultivo do milho é maior que a da uréia aplicada, porém o aproveitamento imediato pelo

milho do nitrogênio proveniente da uréia é maior que o da mucuna-preta, em razão da pronta disponibilidade no solo do nutriente da fonte mineral (OLIVEIRA et al., 2002). A associação do milho à mucuna-preta intensifica o efeito do aproveitamento do nitrogênio (SCIVITTARO et al., 2003). Uma das limitações do consórcio é a dificuldade para realizar a semeadura mecanizada nessa associação de cultivos e problemas de dormência nas sementes, que podem ser superados pela adaptação de maquinários utilizados para algodão e o tratamento térmico de sementes.

Fotos: Leo Nobre de Miranda

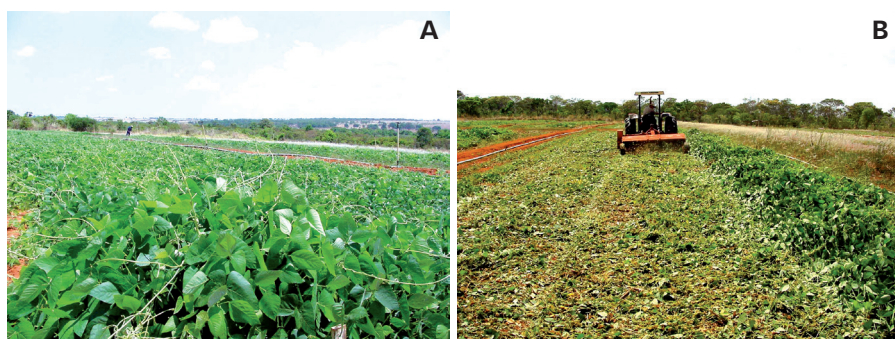


Figura 14 (A e B). Mucuna, utilizada como cultura para rotação/sucessão (A) e formação de palhada (B).

Por fim, ressalta-se a necessidade de se dedicar atenção à restauração da qualidade física do solo nas áreas cultivadas com tomateiro industrial, de forma a se assegurarem altos índices de produtividade, que retornem o investimento intensivo feito em seu cultivo. Nessa conjuntura, aspectos técnicos precisam ser desenvolvidos pela pesquisa, tais como a determinação do intervalo de valores adequados de resistência à penetração, considerando os diferentes tipos de solo, dentro do qual não exista restrição ao desenvolvimento do tomateiro, assim como reação dos diferentes genótipos disponíveis para cultivo. A pesquisa deve, ainda, atuar no sentido de estabelecer estratégias de manejo viáveis para recuperação e preservação da qualidade física do solo nos sistemas de produção de tomate indústria.

Referências

- ABIDINE, A. Z.; HEIDMAN, B. C.; UPADHYAYA, S. K.; HILLS, D. J. Autoguidance system operated at high speed causes almost no tomato damage. **California Agriculture**, Richmond, v. 58, n. 1, p. 44-47, 2004.
- AIDAR, H.; RODRIGUES, J. A. S.; KLUTHCOUSKI, J. Uso da integração lavoura-pecuária para produção de forragem na entressafra. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 225-262.
- ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras**: gramíneas e leguminosas. 5ª. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 162 p.
- AMABILE, R. F.; CARVALHO, A. M.; DUARTE, J. B.; FANCELLI, A. L. Efeito de épocas de semeadura na fisiologia e produção de matéria seca de leguminosas nos Cerrados da região do Mato Grosso de Goiás. **Scientia Agricola**, v. 53, n. 2/3, p. 296-303, May/Dec. 1996.
- BONAMIGO, L. A. Nova opção de cobertura e rotação. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, Edição Especial (Milho), p. 12-13, 1995.
- BLANCANEUX, P. L.; FREITAS, P. L. de; AMABILE, R. F. **Sistematização e adaptação da metodologia para caracterização do perfil cultural**. [s.l.: s.n.], 1995. 24 p. Segunda versão (1995) do trabalho apresentado a Reunião Técnica sobre a Metodologia do Perfil Cultural, Londrina, PR, 04 a 08 de fevereiro de 1991. Mimeografado.
- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: Robert Krieger, 1976. 482 p.
- BURLE, M. L.; CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F., PEREIRA, J. Caracterização das espécies de adubo verde: *Mucuna-preta*. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. p.116-121.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. **Efeito da compactação no crescimento de plantas**. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C5/Index.htm>. Acesso em: 06 maio de 2016.

CALEGARI, A. Alternativas de culturas para rotação em Plantio Direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 80, p. 62-70, 2004.

CECCON, G.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Modalidades e métodos de implantação do consórcio milho-braquiária. In: CECCON, G. (Ed.). **Consórcio milho-braquiária**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 27-48.

CHAMBLEE, D. S.; GREEN, J. T.; BURNS, J. C. Principle forages of North Carolina: adaptation, characteristics, management, and utilization. In: CHAMBLEE, D. S.; GREEN, J. T. (Ed.). **Production and utilization of pastures and forages in North Carolina**. Raleigh: North Carolina State University, 1995. 168 p. (Technical Bulletin 305)

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 212, p. 53-60, 2001.

CORREIA, N. M.; GOMES, L. J. P. Sobressemeadura de soja com *Urochloa ruziziensis* e a cultura do milho em rotação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 11, p. 1017-1026, nov. 2015. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/136492/1/Sobressemeadura-de-soja.pdf> >. Acesso em: 18 dez. 2017.

CREAMER, N. G.; BALDWIN, K. R. An evaluation of summer cover crops for use in vegetable production systems in North Carolina. **HortScience**, v. 35, n. 4, p. 600-603, 2000.

CZARNOTA, M. A.; PAUL, R. N.; DAYAN, F. E.; CHANDRASHEKHAR, I. N.; WESTON, L. A. Mode of action, localization of production, chemical nature, and activity of sorgoleone: a potent PSII inhibitor in *Sorghum* spp. root exudates. **Weed Technology**, v. 15, p. 813-825, 2001.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; GONÇALVES, S. L. **Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 20 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 63). Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59589/1/63.pdf> >. Acesso em: 18 dez. 2018.

GIRARDELLO, V.; AMADO, T.; ERTEL, C.; GARLET, L. Benefícios do tráfego controlado de máquinas. **A Granja**, Porto Alegre, v. 785, p.34-37, 2014.

GOEDERT, W. J.; OLIVEIRA, C. S.; FREITAS, P. L de. **Manejo e Conservação do Solo e da Água no Plantio Direto**. Brasília-DF: ABEAS/UnB, 2005. 56 p. (Apostila - Curso de especialização por tutoria à distância em Plantio Direto, Módulo 5).

GUBIANI, P. I. **Tempo para a ocorrência da resistência à penetração restritiva ao feijoeiro em solo com diferentes estados de compactação**. 2008, 108f. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GRZESIAK, M.; JANOWIAK, F.; SZCZYREK, P.; KACZANOWSKA, K.; OSTROWSKA, A.; RUT, G.; HURA, T.; RZEPKA, A.; GRZESIAK, S. Impact of soil compaction stress combined with drought or waterlogging on physiological and biochemical markers in two maize hybrids. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 38, p. 109, 2016.

MADEIRA, N. R.; MELO, R. A. de C. e. Sobre a palha. **Cultivar Hortaliças e Frutas**, Pelotas, ano IX, n.60, p. 20-23. fev./mar. 2010.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; MADEIRA, N. R. Uso de água e produção de tomateiro para processamento em sistema de plantio direto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1399-1404, set. 2006. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/40715/1/41n09a08.pdf> > . Acesso em: 18 dez. 2017.

MELO, P. C. T. **Panorama da agroindústria do tomate no mundo**. In: 6º Congresso Brasileiro de Tomate Industrial. 2012. Disponível em: < <http://www.alensado.pt/images/doc/Paulo-Cesar-Tavares-de-Melo.pdf> > . Acesso em: 06 maio 2016.

MOLIN, J. P.; POVH, F. P.; PAULA, V. R.; SALVI, J. V. Método de avaliação de equipamentos para direcionamento de veículos agrícolas e efeito de sinais de GNSS. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 121-129, 2011.

MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 584-590, 2012.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 148, p. 119-126, May 2015.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em Plantio Direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/23440/1/pab1126.pdf> >. Acesso em: 18 dez. 2017.

PITOL, C.; BORGES, E. P.; BROCH, D. L.; SIEDE, P. K.; ERBES, E. J. **O milheto na integração agricultura-pecuária**. Maracaju: Fundação MS, 1996. 6 p.

REATTO, A.; BROSSARD, M.; CARVALHO, A. M.; MARTINS, E. S.; SILVA, A. V. **Quantificação do crescimento radicular em perfil de solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 14 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 89). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26337/1/bolpd_89.pdf>. Acesso em 18 dez. 2017.

RODRIGUES, J. C. S.; PRADO, A. P. A. **Preparo profundo e canteirização**. 2014. Disponível em: <<http://sucroenergetico.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/2-preparo-profundo-e-canteirizacao/>>. Acesso em: 06 maio 2016.

SÁ, M. A. C.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 26 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 136). Disponível em: < http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/27465/1/doc_136.pdf >. Acesso em: 18 dez. 2017.

SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Transformações do nitrogênio proveniente de mucuna-preta e uréia utilizados como adubo na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 12, p. 1427-1433, 2003. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/25845/1/v38n12a09.pdf> > . Acesso em: 18 dez. 2017.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 25, n. 2, p. 395-401, abr./jun. 2001. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/83977/1/Stone-2.pdf> > . Acesso em: 18 dez. 2017.

STALHAM, M. A.; ALLEN, E. J.; ROSENFELD, A. B.; HERRY, F. X. Effects of soil compaction in potato (*Solanum tuberosum*) crops. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 145, p. 295-312, Feb. 2007.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 301-309, jun. 1998.

XU, X.; NIEBER, J. L. GUPTA, S. C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 1743-1750, 1992.

WORLD PROCESSING TOMATO COUNCIL. **World production estimate of tomatoes for processing**. 2015. Disponível em: <<https://www.wptc.to/releases-wptc.php>> . Acesso em: 06 maio 2016.

